

NANTES METROPOLE

**COUERON (44) - REHABILITATION DES AMENAGEMENTS DE LA
RIVE DROITE DE LOIRE**
ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE

PROPOSITION DE SOLUTIONS D'AMENAGEMENT ET DE CONFORTEMENT DES BERGES

Emetteur

Réf affaire Emetteur
Chef de Projet
Auteur principal
Nombre total de pages

Arcadis

Agence de NANTES

17 Place Magellan
Le Ponant 2 - Zone Atlantis
BP 10121
44817 St Herblain Cedex
Tél. : +33 (0)2 40 92 19 36
Fax : +33 (0)2 40 92 76 20

16-0143
Bertrand HARPIN
Bertrand HARPIN
33

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A	10/07/2017	Première diffusion	P. Corbel	B. Harpin	B. Harpin
B	06/10/2017	Modifications suite à la réunion du 18/09/2017	B. Harpin	G. Kervingant	B. Harpin

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive d'ARCADIS ESG.
Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée.

TABLE DES MATIERES

1 INTRODUCTION	4
1.1 Objet de la mission	4
1.2 Documents utilisés	4
2 DEFINITION DES SECTIONS	5
3 RECOMMANDATIONS POUR LA REIMPLANTATION DE L'ANGELIQUE DES ESTUAIRES	6
4 ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA ZONE ERODEE A L'EST DU SITE	9
5 SOLUTIONS TECHNIQUES DE CONFORTEMENT	14
5.1 Solutions techniques	14
5.2 Contraintes de réhabilitation	16
6 PROPOSITIONS DE REHABILITATION DES AMENAGEMENTS DE RIVES DE LOIRE	17
6.1 Zone 1 : 170m pas d'intervention	17
6.2 Zone 2 : 135m réhabilitation à prévoir	17
6.1 Zone 3 : 167m réhabilitations ponctuelles	19
6.2 Zone 4 : 148m réhabilitation à prévoir	20
6.3 Zone 5 : 102m pas d'intervention	23
6.4 Zone 6 : 61m réhabilitation à prévoir	23
6.5 Zone 7 : Estacade, 51m, pas d'intervention	25
6.6 Zone 8 : 60m, pas d'intervention	25
6.7 Zone 9 : 77m, réhabilitation à prévoir	25
6.8 Zone 10 : Pas d'intervention	30
7 PRINCIPE DE GESTION DES ESPECES INVASIVES	31
8 GESTION GLOBALE DE LA VEGETATION DES RIVES	32
9 DELAIS DE MISE EN ŒUVRE LIES AU VOLET ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE	33
10 CONCLUSION	33

1 INTRODUCTION

1.1 Objet de la mission

La mission qui nous a été confiée par NANTES METROPOLE est une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la réhabilitation des aménagements de rive droite de Loire, sur la commune de Couëron (44).

Suite au rapport « Consolidation du diagnostic, identification et analyse des contraintes environnementales et réglementaires » réalisé en Mai 2017 par ARCADIS, cette note vient proposer un panel varié de solutions de réhabilitation des aménagements de rives de Loire.

Dans la mesure où la zone d'étude est située dans le périmètre de la station réservoir L60, la conservation des espèces protégées, notamment l'angélique des estuaires, est un des enjeux majeurs du projet.

1.2 Documents utilisés

Les documents utilisés pour la réalisation de la présente étude sont les suivants :

- 14-0143 DIA 12-001 RPT C - Consolidation du diagnostic, identification et analyse des contraintes environnementales et réglementaires ;
- Catalogue des savoir-faire et des pratiques favorables à l'angélique des estuaires. Claude FIGUREAU (Jardin Botanique de Nantes) et Pascal LACROIX (Conservatoire Botanique National de Brest), 2009 ;
- Cahier des Clauses Techniques Particulières type : Opérations de création, restauration de berges à angélique des estuaires et opérations de déplacement de pieds d'angélique des estuaires. Claude FIGUREAU (Jardin Botanique de Nantes) et Pascal LACROIX (Conservatoire Botanique National de Brest), 2009 ;
- Le génie végétal, édité par la Documentation Française, 2008.

2 DEFINITION DES SECTIONS

Dans le cadre du diagnostic de mai 2017 une cartographie des niveaux de vulnérabilité a été établie. Elle permet de classer précisément la berge suivant son niveau de vulnérabilité.

Sur la base de cette cartographie, nous nous sommes attachés à définir des ensembles cohérents de sections. Pour chacun, des préconisations et des solutions de réhabilitation sont proposées.

Ces nouvelles sections sont au nombre de 10 et sont délimitées de la manière suivante :



Zones : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

D'une manière générale, les zones vertes correspondent aux zones classées dans le diagnostic, à vulnérabilité faible, voire moyenne. Aucune intervention de confortement et/ou de réhabilitation n'est requise sur ces zones.

Les zones rouges correspondent aux zones classées dans le diagnostic, à vulnérabilité forte, voire moyenne. Des solutions de réhabilitation sont proposées pour traiter tout le linéaire concerné.

La zone 3 est représentée en orange. Il s'agit d'une section qui alterne les zones déjà confortées par des aménagements (vulnérabilité faible) et qui ne nécessitent aucun aménagement, et des zones à vulnérabilité forte pour lesquelles des solutions de réhabilitation sont proposées.

Les réflexions ayant conduit à ce nouveau zonage sont présentées dans le chapitre 5 du présent rapport.

3 RECOMMANDATIONS POUR LA REIMPLANTATION DE L'ANGÉLIQUE DES ESTUAIRES

Dans le cas de préconisations de mise en œuvre d'un confortement de berges, les travaux devront permettre la réimplantation de l'Angélique des estuaires. Les dispositions à respecter pour satisfaire cet objectif sont décrits ci-après :

Extraits du « Catalogue des savoir-faire et des pratiques favorables à l'angélique des estuaires » :

1. Exigences de l'angélique qui vont guider les opérations de création de biotope :

Position sur le profil de berge : l'angélique se situe dans la partie supérieure de la zone de marnage, assez nettement au-dessus du niveau atteint systématiquement à toutes les marées (pleines mers de mortes eaux) et au contact inférieur du domaine strictement terrestre, hors d'eau en été, correspondant au plus haut niveau atteint par les pleines mers de vives eaux d'été, lors d'épisodes exceptionnels de surcote en conditions de plus fort débit de la Loire ou de situation dépressionnaire. A Nantes, ces niveaux correspondent aux cotes NGF 1969 2,40 mètres et 3,80 m. Les pentes fortes sont défavorables dans la mesure où elles diminuent la surface disponible, la réduisant parfois à un linéaire de quelques décimètres de large. En revanche, un profil transversal en très faible pente augmente la surface d'habitat favorable.

Substrat : l'angélique est à son optimum sur des vases colmatées, mais peut également s'accommoder de sables vaseux. Tous les substrats minéraux capables de favoriser la sédimentation des vases s'avèrent favorables à terme. On observe que c'est le cas de la plupart des enrochements, pour autant que la taille des blocs soit favorable au piégeage de la vase, et des graines de diverses espèces transportées par le fleuve. Ces ouvrages tirent leur intérêt de la présence de gros interstices. C'est pourquoi, tout ouvrage bétonné ou maçonné est défavorable.

Degré de luminosité : Il a été constaté dans l'estuaire de la Loire que les plus gros effectifs de populations se retrouvent principalement en situation d'ombre (sous couvert arboré) ou demi-ombre (à proximité d'un bouquet d'arbres ou d'arbustes), en raison d'une moindre concurrence exercée par les autres espèces herbacées plus généralement héliophiles. Cependant, le suivi des populations d'angélique des estuaires effectué depuis 2004 a mis en évidence le fait que certaines stations aux effectifs nombreux ne donnaient en réalité que très peu de pieds fleuris. Malgré tout, dans l'optique d'une création de biotope, il est souhaitable de préférer l'objectif de la constitution d'une ripisylve qui présente l'avantage d'être un milieu beaucoup plus stable qu'un milieu ouvert, même s'il est moins productif au niveau grainier. Si cet objectif ne peut être retenu, la création d'un habitat ouvert ne sera possible qu'en appliquant des principes de gestion adaptés (voir chapitre gestion).

Il s'agit d'une étape indispensable pour toute opération de création de biotope à angélique qui consiste à mettre en place les conditions de sol favorables à une dynamique de colonisation végétale.

- Sur le mélange, étendre un filet de coco de maille de 2 cm (treillage coco tissé, biodégradable H2M5, 740 gr m2) agrafé au sol par des agrafes en fer béton de 6 mm diamètre. Couverture du filet par un lit unique de pierres de 150 à 300 mm de diamètre.

- Positionnement de la zone d'angélique des estuaires :

Le diagramme illustre la répartition spatiale des habitats littoraux en fonction du niveau de la mer et de l'amplitude de marée. L'axe vertical représente l'altitude, avec des repères pour les **Plaines mers** et les **Basses mers**. L'axe horizontal représente l'amplitude altitudinale de l'espèce.

Les habitats sont classés en fonction de leur position relative aux marées :

- Domaine Terrestre** (Pas de recouvrement) : Situé au-dessus du niveau moyen, il comprend les **vives eaux exceptionnelles** et les **vives eaux**. L'habitat **Angélique des estuaires** est représenté dans cette zone.
- Domaine Marnant ou Intertidal** : Situé entre les niveaux maximal et minimal, il comprend les **mortes eaux** et le **niveau moyen**. Ce domaine est caractérisé par un **Recouvrement à toutes les marées**.
- Domaine Aquatique** (toujours en eau) : Situé en dessous du niveau minimal, il comprend les **mortes eaux** et les **vives eaux**. Ce domaine est caractérisé par un **Découvrement à toutes les marées**.

Les zones de **vives eaux exceptionnelles** et **vives eaux** sont également associées à un **Pas de découvrement**.

Exemples d'amplitude altitudinale de l'espèce :

- Nantes : 2,40 m - 3,80 NGF (1,40 m)
- Pellerin : 1,70 m - 3,50 m NGF (1,80 m)

Source : GIP

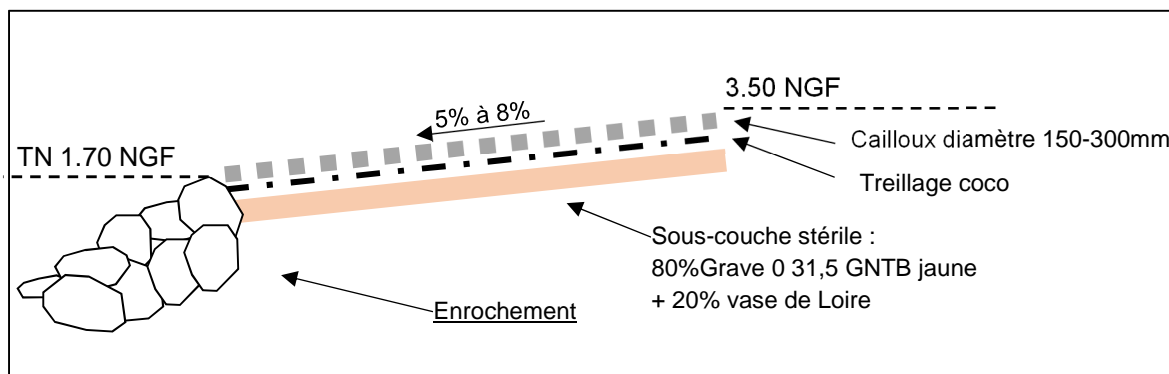
▪ Valeurs de marnage retenues (extrait SHOM) :

Plus Haute Mer Astronomique	PHMA(Donge)	6.73CM	-3.159 = 3.57 NGF
Pleine Mer Morte Eau	PMME(Le Pellerin)	4.95CM	-3.159 = 1.79 NGF

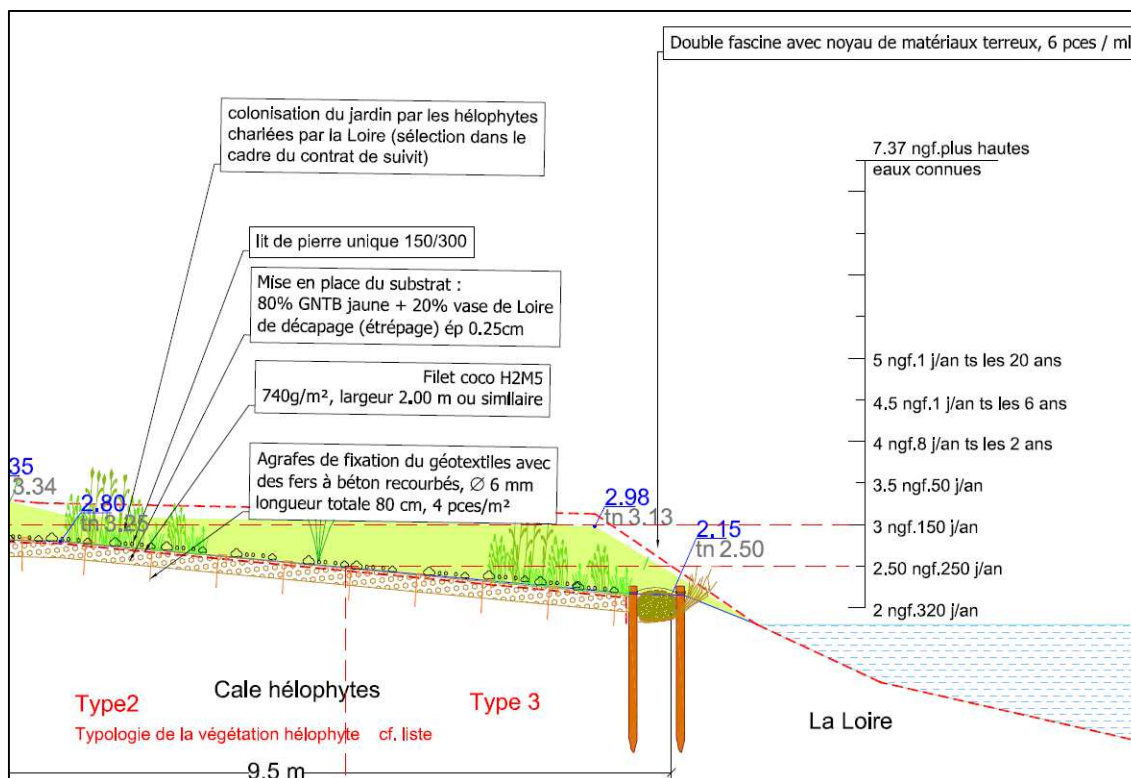
Les données altimétriques du Pellerin sont celles les plus proches des berges de Couëron.

▪ Préconisation du CCTP type angélique des estuaires (§2.3.4.9) :

- Désignation par le maître d'œuvre des zones à angélique à conforter,
- Nivellement du sol,
- Pose d'un filet en fibres de coco : treillage coco tissé, biodégradable H2M5, 740 gr/m² fixé par des agrafes en fer béton de 6mm diamètre,
- Pose d'un lit de pierres de 150-300 mm,
- Semis à la volée suivant une densité de 10 graines/m²,
- Sablage à la volée (épaisseur idéale d'1 cm).



▪ Exemple d'aménagement des berges Nord de l'île de Nantes :



4 ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA ZONE ERODEE A L'EST DU SITE

Une visite du site a été réalisée pour vérifier comment l'angélique se maintient sur le secteur le plus érodé à l'est du site.

Cette visite a permis de vérifier que quelques pieds d'angélique des estuaires se maintiennent sur ce secteur. Quelques beaux pieds fleuris sont présents sur les banquettes où le sédiment est encore en place. Sur les zones très érodées, de jeunes plans sont présents au pied de la berge érodée et dans les éboulis qui permettent de piéger du sédiment fin. Par contre aucun pied ne peut se développer partout où la vase ne peut plus se fixer.



Angélique fleuries au niveau des banquettes



Jeunes individus d'angélique des estuaires en pied de berge érodée





Secteurs érodés sans angéliques

L'observation des photos aériennes dans le temps permet de vérifier que cette zone d'érosion s'étend au fil des ans.



2007





2016

Au fil du temps, les banquettes vont disparaître progressivement.

- B Les anciens quais et perrés qui constituaient une protection du terre-plein, se sont dégradés, rendant vulnérables les remblais sous-jacents qui s'érodent. Il s'agit d'une érosion mécanique liée au batillage engendré par le trafic portuaire. Les tempêtes de type Xynthia ont provoqué une déstabilisation importante et l'érosion régulière liée au batillage entraîne le départ progressif des matériaux du remblai, majoritairement meubles.

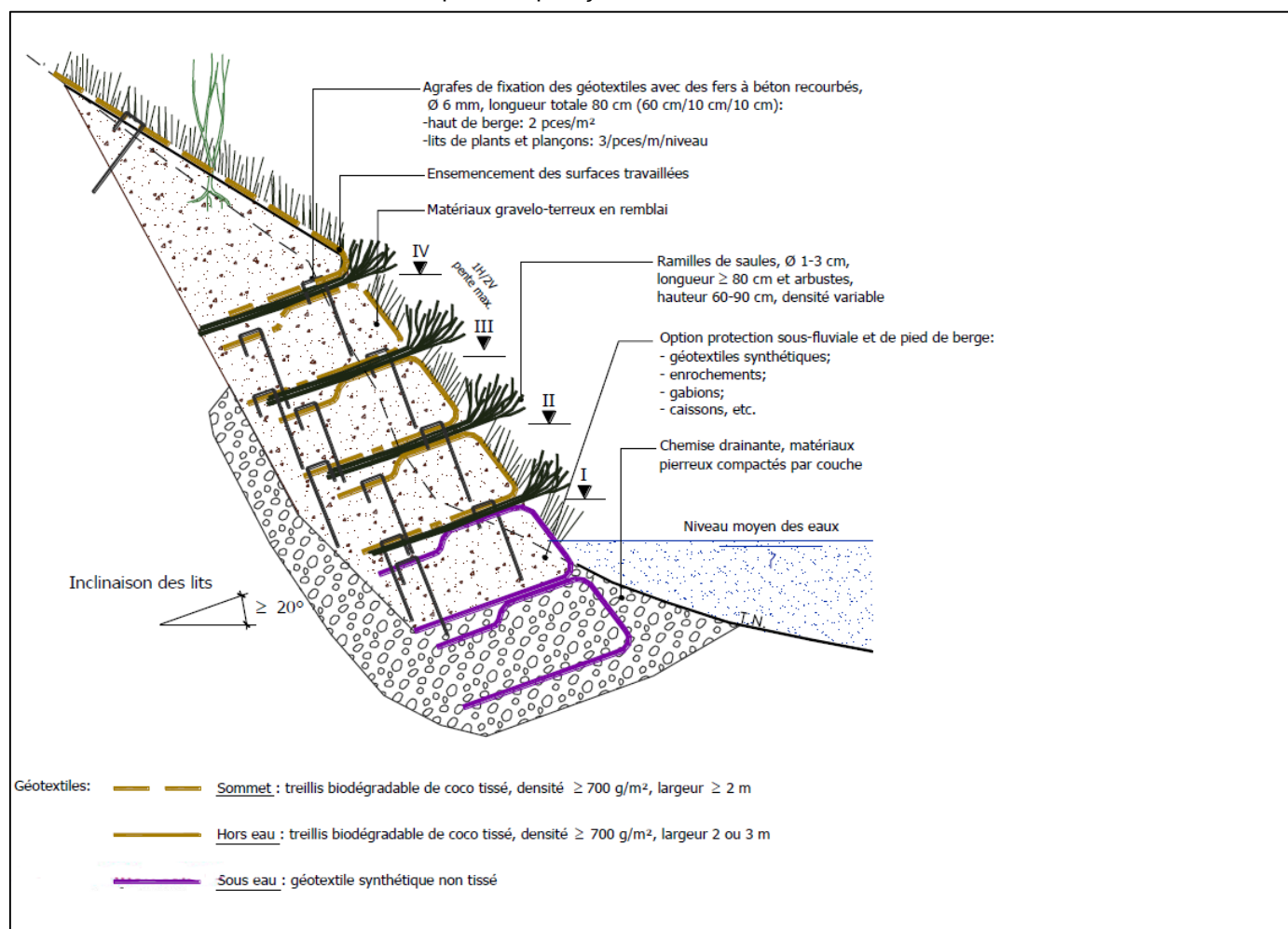
A terme, la zone à Angélique est donc menacée sur les secteurs les plus érodés.

5 SOLUTIONS TECHNIQUES DE CONFORTEMENT

5.1 Solutions techniques

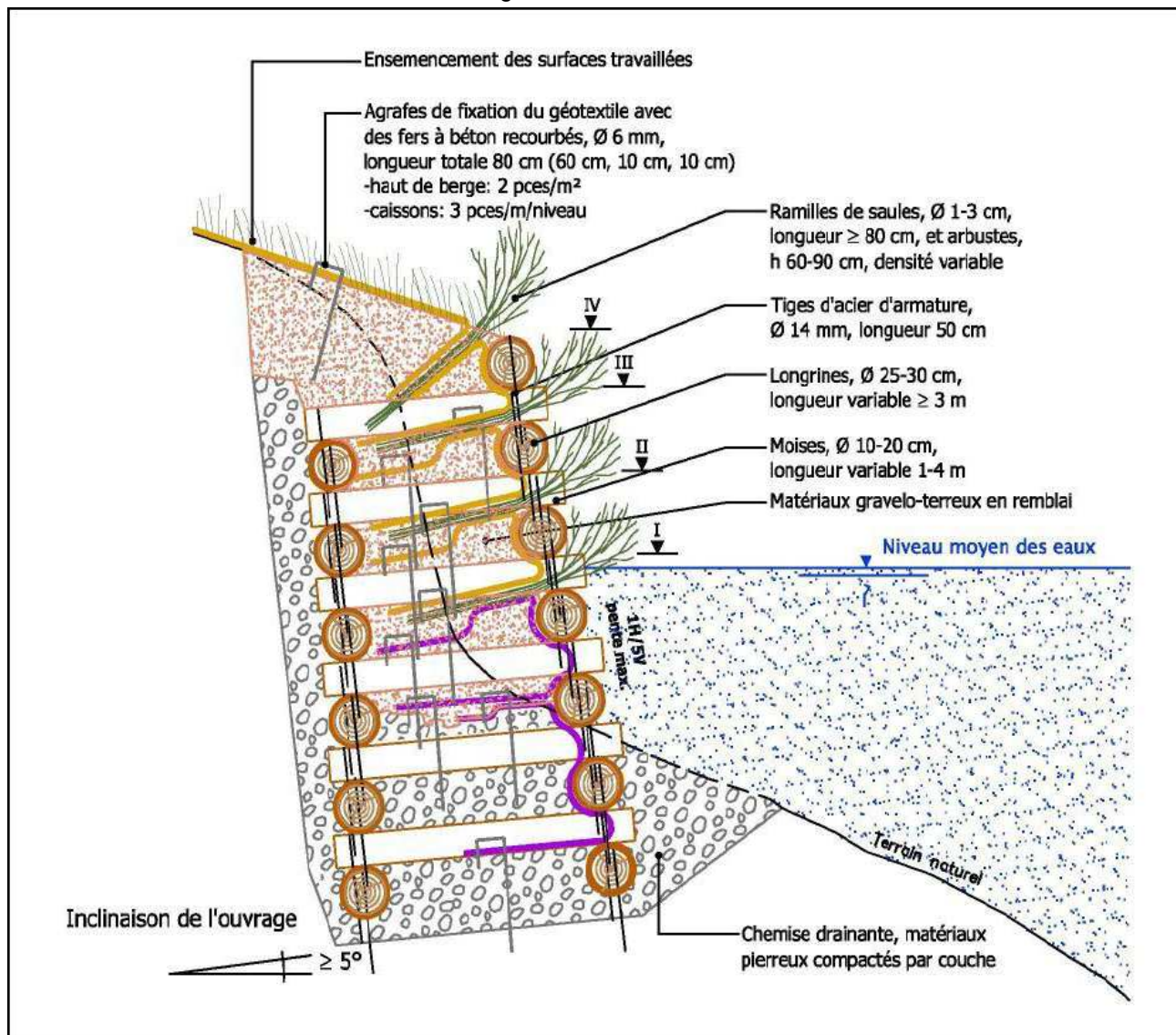
Les solutions de réhabilitation pour les zones concernées consisteront notamment en la mise en place de confortement des berges décrites ci-après :

- Mise en œuvre d'enrochements selon une pente de 3H/2V : adapté à la zone de marnage, les enrochements ont une granulométrie progressive, 300-500kg en partie basse du talus évoluant progressivement à 40-70mm au niveau des plus hautes eaux ;
- Création d'un talus végétal selon une pente 2H/1V : le talutage est adapté à la zone hors marnage ; il peut être conservé de l'existant ou recréé avec une géogridle disposée sous 10cm de terre végétale.
- Réalisation de Lits de plans et plançons :



Extrait de l'ouvrage "Le génie végétal" en référence

■ Réalisation de Caissons végétalisés :



Extrait de l'ouvrage "Le génie végétal" en référence

■ Solutions écartées :

Les solutions consistant à foncer et/ou battre des pieux bois ont été écartées compte-tenu de l'hétérogénéité des remblais en place et de la présence très probable de blocs et/ou vestiges de construction qui entraîneraient des refus prématurés. La mise en place d'un rideau de soutènement en pieux bois nécessiterait des purges importantes non compatibles avec la présence des aménagements existants.

Les solutions de génie végétal comprenant de petits boudins de toile coco sont également à proscrire dans les zones de marnage (soulèvement des boudins à la montée des eaux) et en présence de courants importants.

5.2 Contraintes de réhabilitation

■ Aménagement en tête :

La piste cyclable de largeur 2,5 m et le cheminement piéton sont conservés lorsque la géométrie et le degré d'érosion le permettent. Dans le cas contraire, et afin de maintenir les aménagements existants sans intervenir sur la berge, deux solutions peuvent être envisagées :

- Le déplacement du chemin vers le nord lorsqu'il existe un espace suffisant entre le chemin et la piste cyclable ;
- Le regroupement du chemin et de la piste cyclable en une voie verte de largeur minimum de 3m.

Une banquette plane ou à pente douce, de 3 m de large sera, dans la mesure du possible, conservée en tête de talus, entre ces voies et la berge.

■ Réimplantations des Angéliques :

Conformément au plan de conservation des Angéliques, leur réimplantation est ici proposée en accompagnement des projets de confortement. Le principe retenu est de disposer une banquette de 2m de large avec une pente de 5% à 8% entre les niveaux +1,70 m NGF et +3,50 m NGF.

Dans le cas d'un simple talus en enrochement, un biotope à angélique plus sommaire peut être reconstitué en comblant les vides entre les blocs d'enrochement avec des vases de Loire.



Exemple d'aménagement en simple talus à enrochement à Saint-Herblain, jeune pied d'angélique poussant entre les blocs

6 PROPOSITIONS DE REHABILITATION DES AMENAGEMENTS DE RIVES DE LOIRE

B En préambule, rappelons qu'il existe de nombreux exutoires dans les berges. Beaucoup sont affouillés et en état de ruine. Leur confortement est à prévoir. Ces travaux ne sont pas inclus dans les solutions de réhabilitation décrites ci-après. Les gros ouvrages maçonnés situés principalement au droit de la zone 4 nécessiteront des travaux spéciaux pour les intégrer aux futures réhabilitations. A ce stade, nous estimons les travaux de confortement de l'ensemble des exutoires à environ 60 000 € HT.

Les coûts au mètre linéaire présentés ci-après comprennent les prix généraux, les aléas et une remise en état des lieux après travaux.

6.1 Zone 1 : 170m pas d'intervention

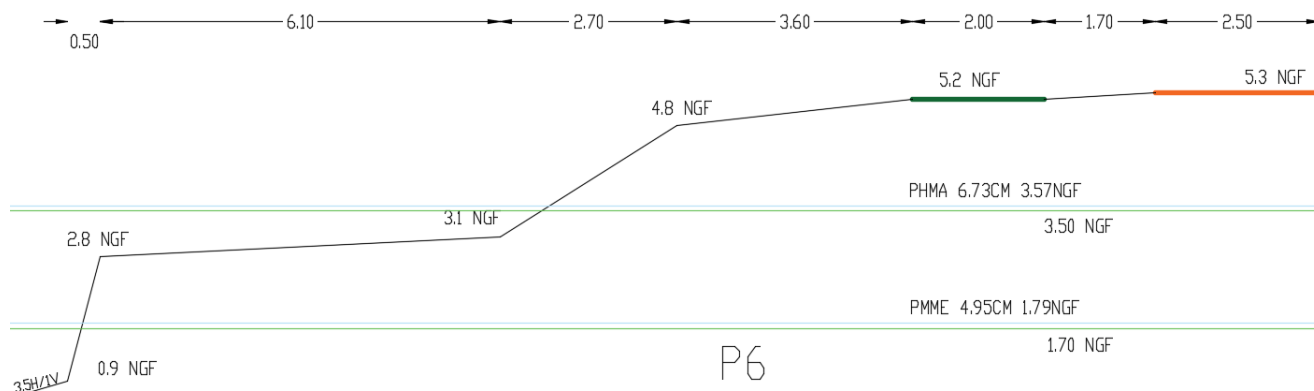
Sur les 170 premiers mètres à partir de l'extrémité ouest de la zone d'étude, le talus ne présente pas (ou peu) de traces d'érosion et le cheminement piéton est à une distance supérieure à 3 m de la rive. Les espèces invasives, tel que la Renouée du Japon, y sont très présentes. Dans ces conditions, la zone ne nécessite pas d'intervention à court ou moyen terme. Elle est néanmoins à surveiller.

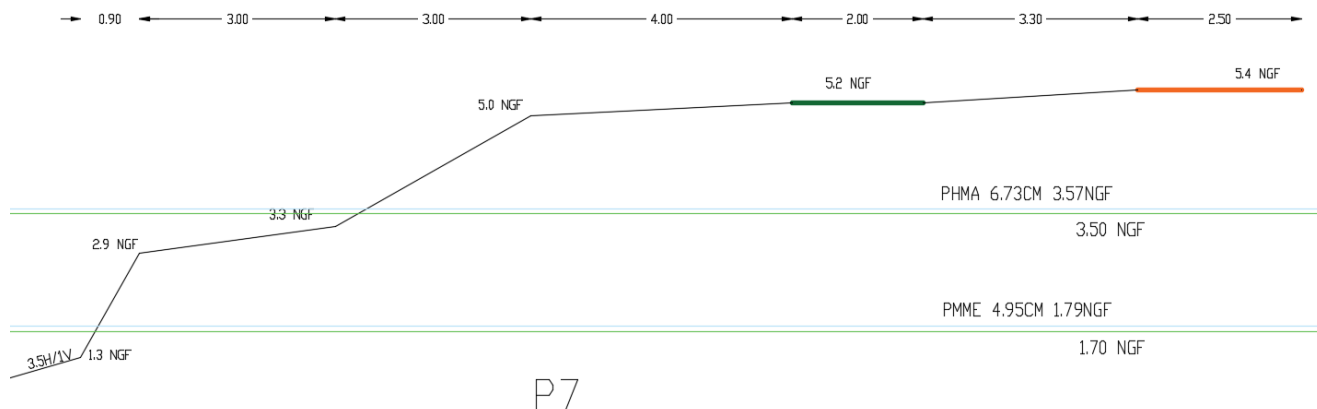
6.2 Zone 2 : 135m réhabilitation à prévoir

Sur la zone 2, des traces d'érosion récentes et sub-verticales ont été repérées ainsi que des affouillements importants de la banquette de dépôts alluvionnaire avec la présence d'arbres à l'équilibre précaire. Cette section regroupe des zones classées à vulnérabilité forte et moyenne. Si seul un traitement des zones à vulnérabilité forte n'est effectué, on risque de constater à court terme un déplacement des traces d'érosion sur les zones à vulnérabilité moyenne qui sont déjà fragilisées. Nous préconisons donc un traitement homogène sur l'ensemble de la zone 2.

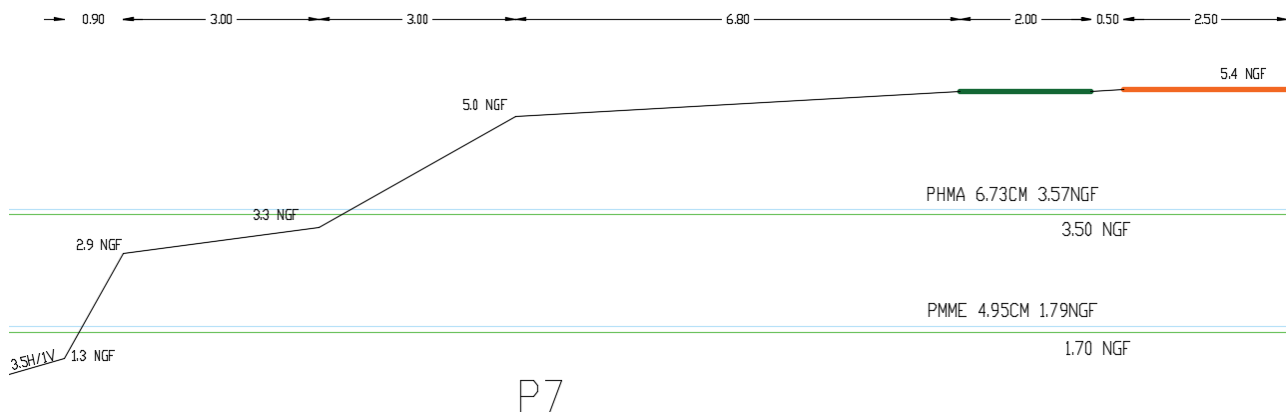
▪ Profils existants :

- Cheminement piéton : —
- Piste cyclable : —



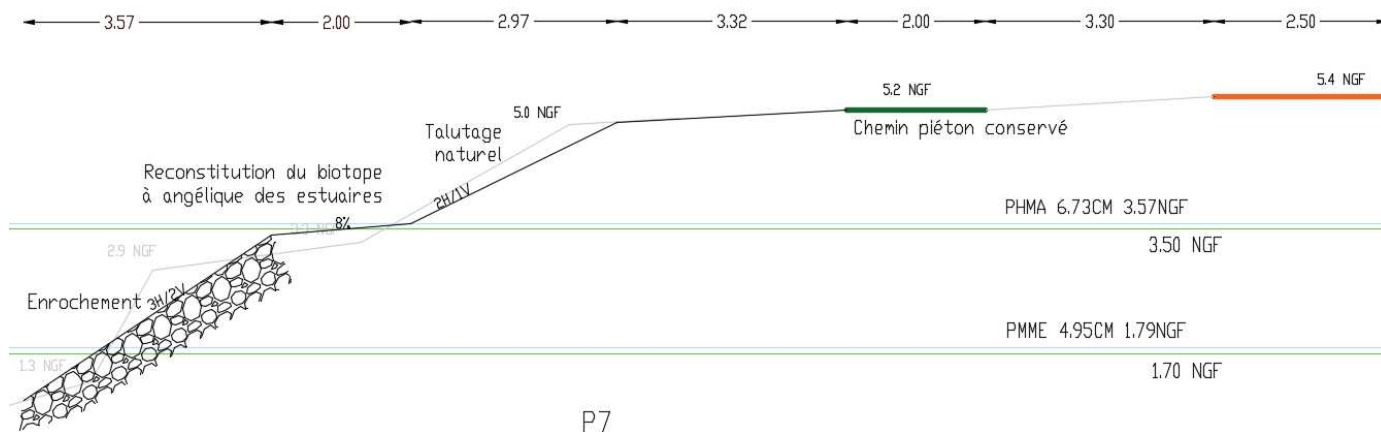


■ Solution 1 : Recul de cheminement :



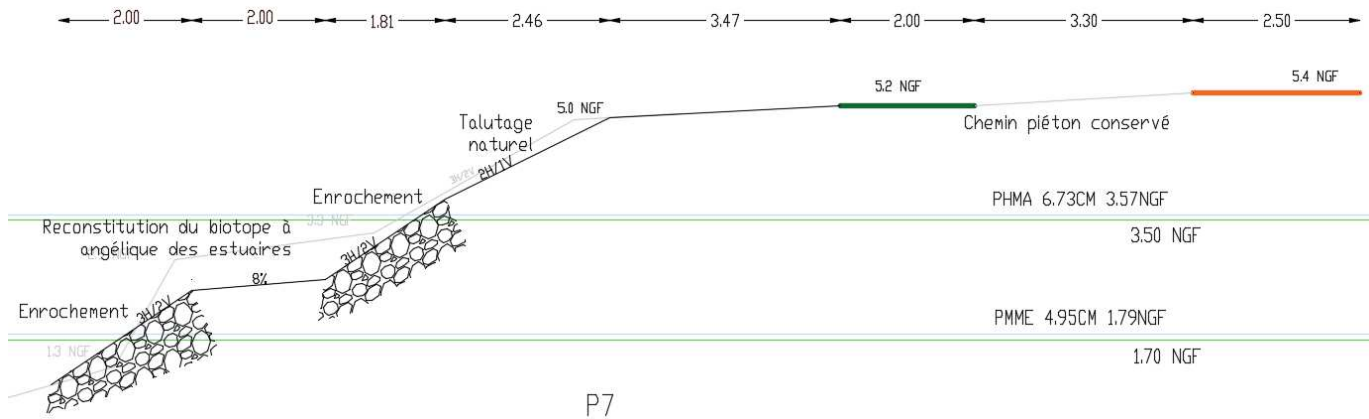
Un simple déplacement du chemin piéton vers le nord peut être réalisé, sans intervention sur la berge. Cela redonnera une durée de vie supplémentaire aux aménagements mais une évolution de l'érosion est à prévoir à court ou moyen terme. Elle pourra menacer à nouveau les aménagements.

■ Solution 2 : Enrochement et reconstitution de biotope à angéliques en partie haute :



Un reprofilage de la berge est effectué avec des pentes permettant d'assurer la stabilité des talus. Une protection locale des talus est à prévoir pour s'affranchir d'éventuels affouillements. La banquette permet la réimplantation de l'angélique.

- Solution 3 : Enrochement avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :



Cette solution reprend le principe de la solution 2 mais la banquette pour les angéliques est créée à une altitude plus faible.

- Analyse multicritères :

Solution	Impact sur les aménagements	Pérennité	Impact sur l'habitat des espèces protégées	Intégration paysagère	Contrainte de réalisation en phase travaux	Coût HT
1	Déplacement du cheminement piéton	Evolution de l'érosion à prévoir à court ou moyen terme	Pas d'intervention sur la berge	Neutre	Intervention uniquement en tête de talus	75 €/ml
2	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique mais en limite de zone propice à son développement	Impact visuel des enrochements	Facilité de réalisation de la banquette car altitude plus élevée	De 675 €/ml à 750 €/ml
3	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique	Impact visuel des enrochements	Banquette à réaliser en zone marnante et double talus en enrochement	De 790 €/ml à 865 €/ml

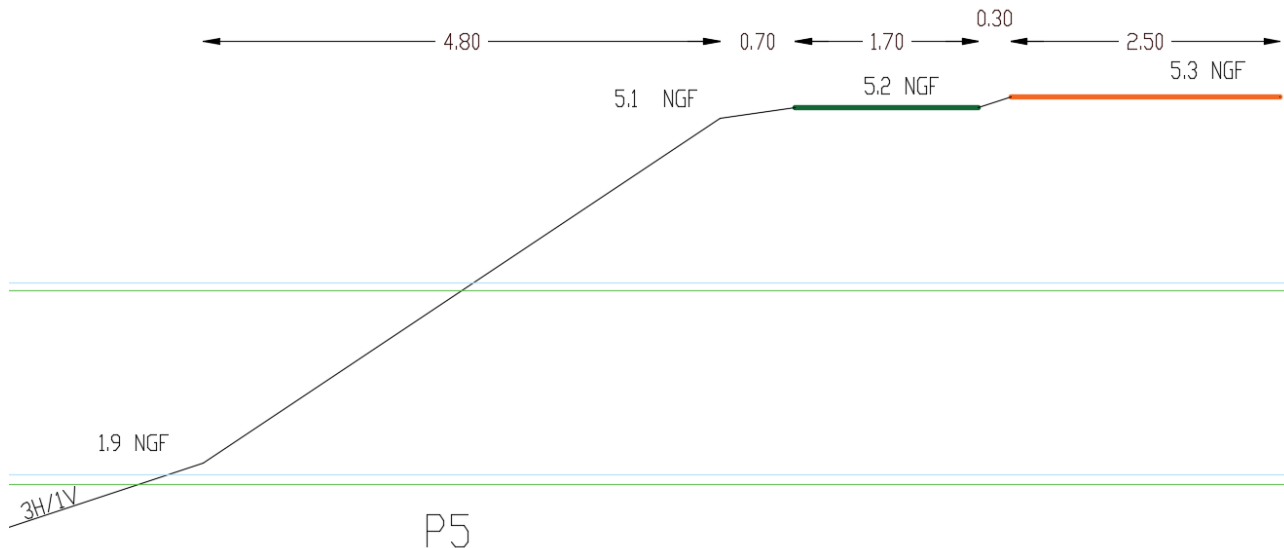
6.1 Zone 3 : 167m réhabilitations ponctuelles

Cette section est constituée de zones déjà confortées et de zones intermédiaires présentant des traces d'érosion. Les confortements réalisés sous la forme de soutènements en traverses de chemin de fer ne présentent pas de désordre et semblent jouer leur rôle. Nous préconisons la mise en place de solutions de réhabilitation au droit des zones intermédiaires. Les solutions proposées sont identiques à celles présentées pour la zone 8. Le linéaire à traiter serait d'environ 32 m.

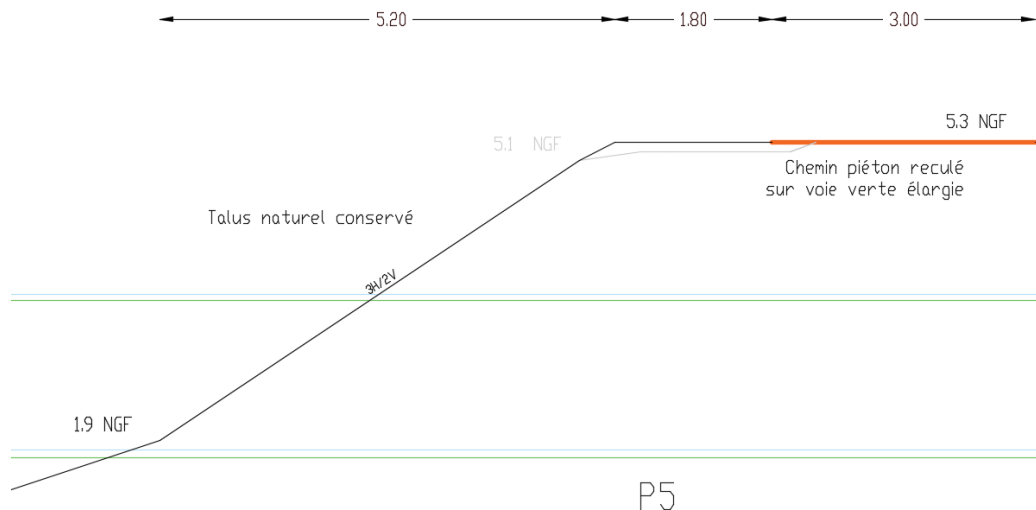
6.2 Zone 4 : 148m réhabilitation à prévoir

Même si une partie du linéaire de cette section a été classée à vulnérabilité moyenne voire faible, le parti a été pris de créer un ensemble cohérent dans ce secteur car il est au droit du parking de la médiathèque. Il s'agit donc d'une zone très fréquentée où le chemin piéton est très proche de la berge. D'importantes traces d'érosion ont été observées localement.

- Profil existant :

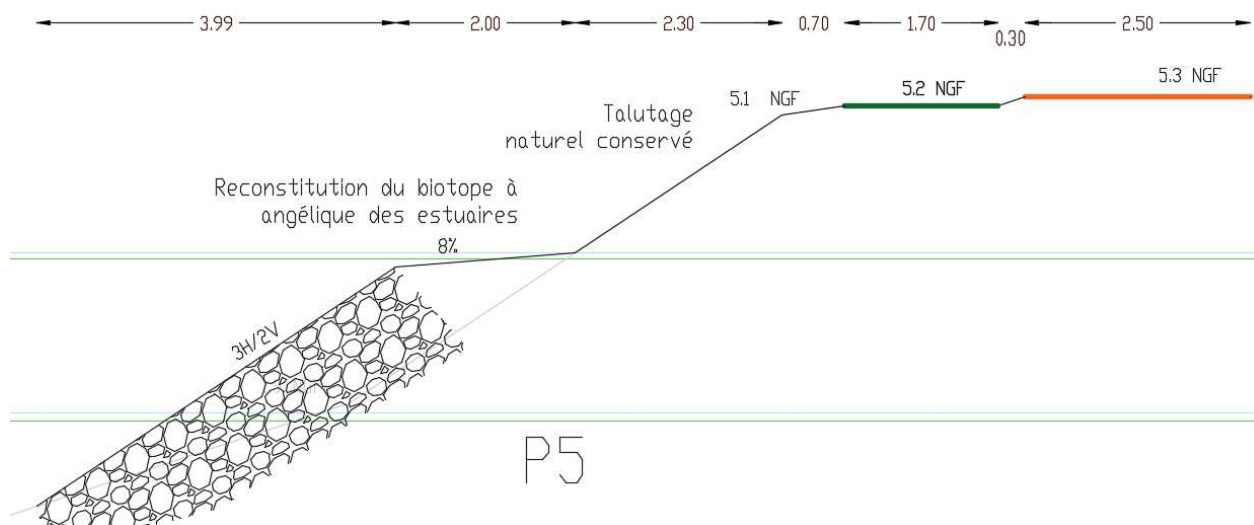


- Solution 1 : Suppression du cheminement piéton et regroupement en voie verte :

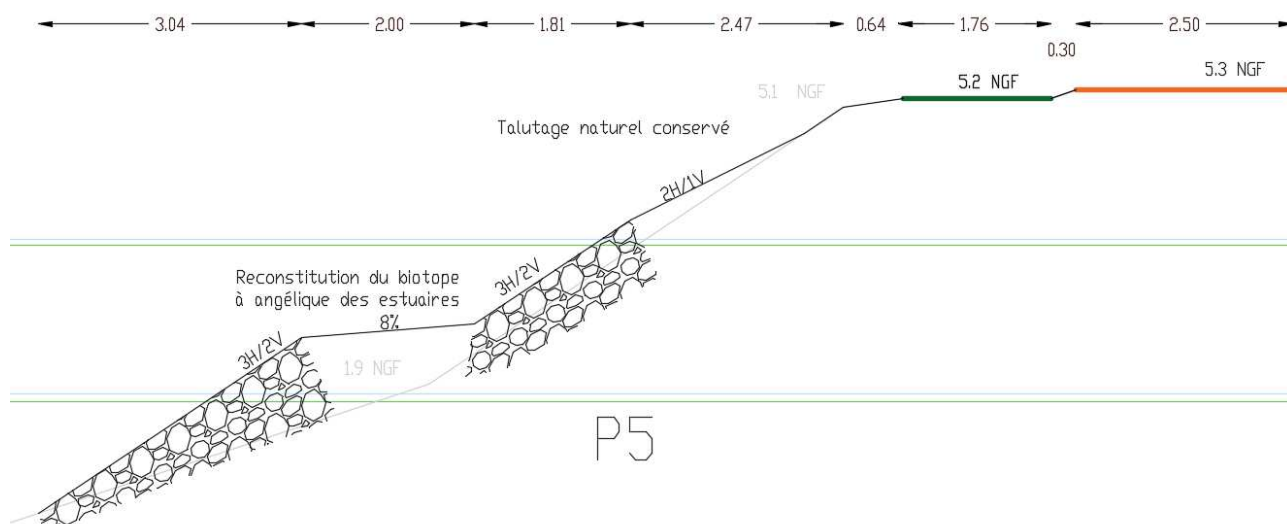


Le déplacement du chemin piéton vers le nord n'est pas réalisable compte-tenu de l'espace disponible. La solution qui permettrait de s'affranchir d'une intervention sur la berge est la création d'une voie verte ce qui permettrait de restituer une banquette en tête de talus. Cela redonnera une durée de vie supplémentaire aux aménagements mais une évolution de l'érosion est à prévoir à court ou moyen terme. Elle pourra menacer à nouveau les aménagements.

■ **Solution 2 : Enrochement et reconstitution de biotope à angéliques en partie haute :**

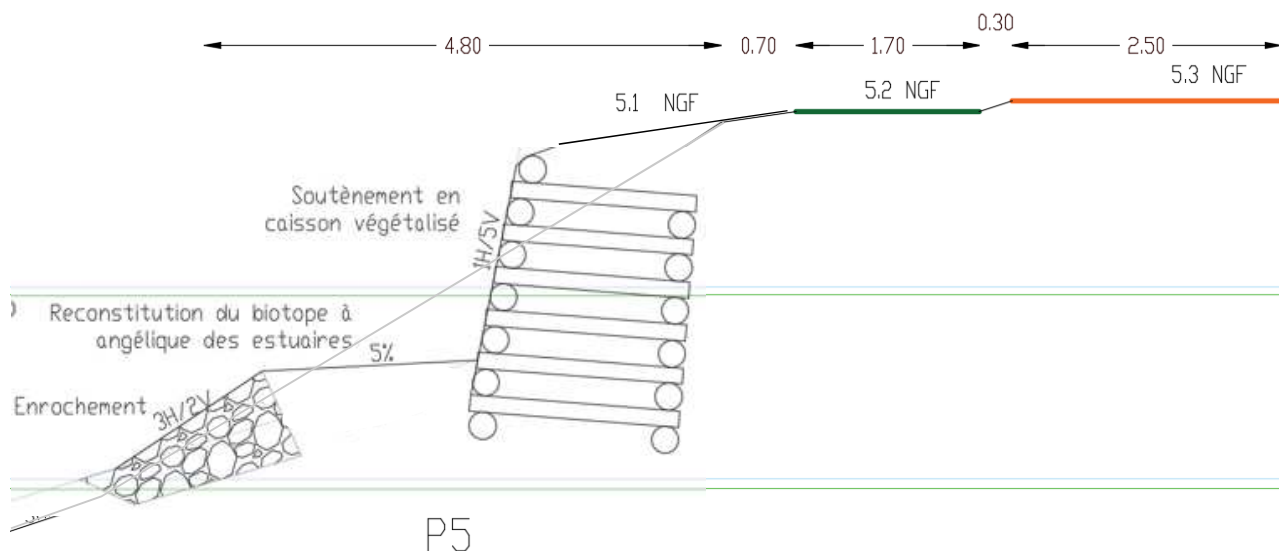


■ **Solution 3 : Enrochement avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :**



- Solution 4 : Soutènement en Caisson végétalisé, enrochement anti-affouillement, avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :

B



- Analyse multicritères :

B

Solution	Impact sur les aménagements	Pérennité	Impact sur l'habitat des espèces protégées	Intégration paysagère	Contrainte de réalisation en phase travaux	Coût HT
1	Démolition des existants et création d'une voie verte	Evolution de l'érosion à prévoir à court ou moyen terme	Pas d'intervention sur la berge	Neutre	Intervention uniquement en tête de talus	75 €/ml
2	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique mais en limite de zone propice à son développement	Impact visuel des enrochements	Facilité de réalisation de la banquette car altitude plus élevée	De 675 €/ml à 750 €/ml
3	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique	Impact visuel des enrochements	Banquette à réaliser en zone marnante et double talus en enrochement	De 790 €/ml à 865 €/ml
4	Conservation des aménagements existants et chemin plus éloigné de la rive	Conception de Génie Végétal adaptée aux fleuves mais plus vulnérable que des enrochements	Banquette favorable à l'angélique	Création d'un soutènement en Génie Végétal	Technicité élevée et banquette à réaliser en zone marnante	De 800 €/ml à 875 €/ml

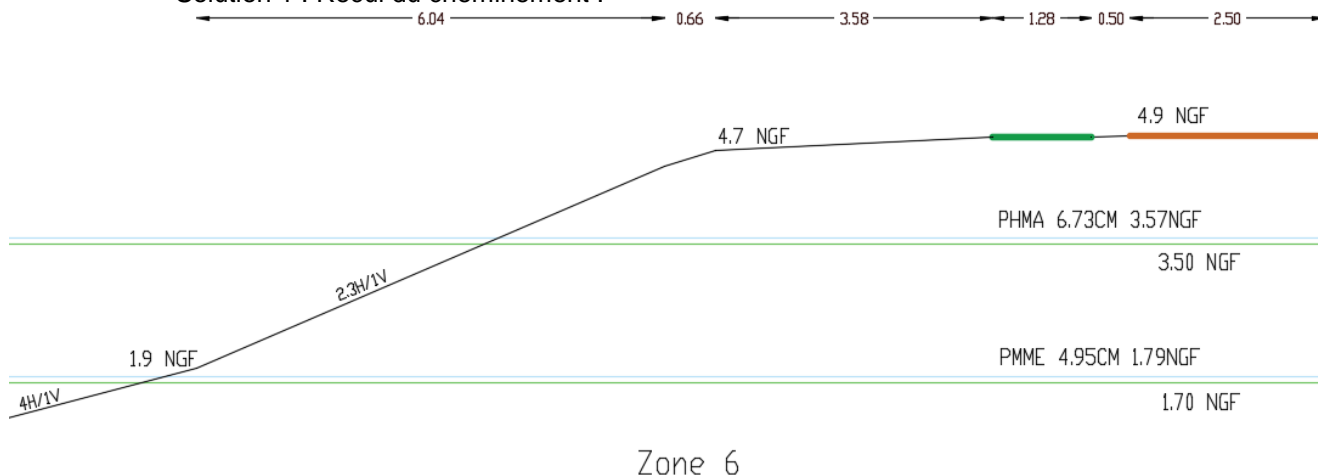
6.3 Zone 5 : 102m pas d'intervention

Cette section est une zone classée à vulnérabilité moyenne dans le diagnostic essentiellement en raison de la proximité du chemin avec la berge. Cette dernière ne présente cependant qu'un léger affouillement au niveau de la banquette de dépôt alluvionnaire. Dans ces conditions, la zone ne nécessite pas d'intervention à court terme. Elle est néanmoins à surveiller. Un déplacement du chemin piéton vers le nord est envisageable pour augmenter la durée de vie des aménagements.

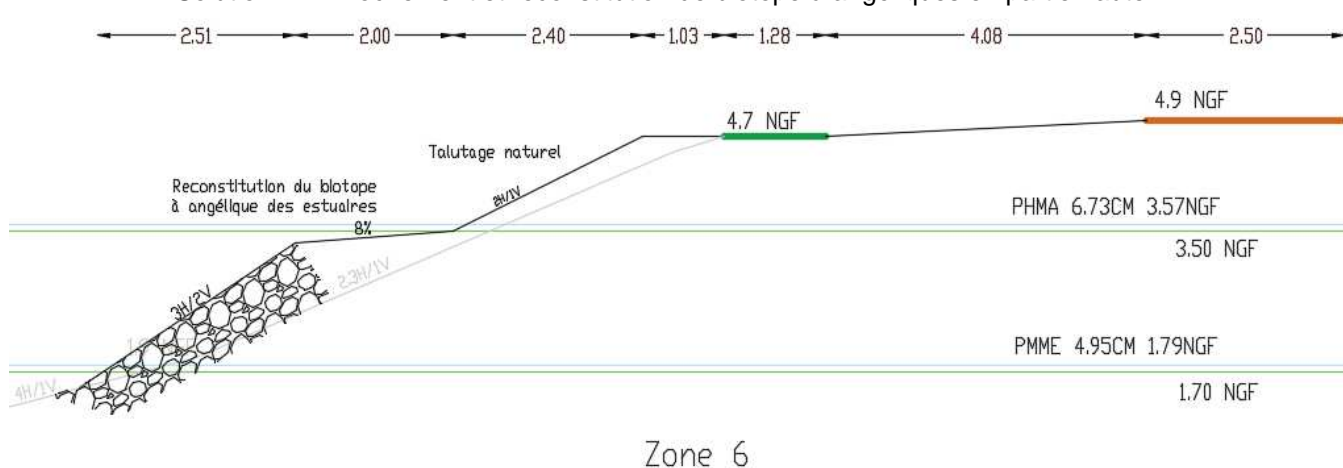
6.4 Zone 6 : 61m réhabilitation à prévoir

Sur une partie de la zone 6, le chemin est très proche de la berge. Cette portion nécessite donc une réhabilitation. Elle a été étendue jusqu'à l'estacade béton pour éviter un déplacement de l'érosion sur la zone à vulnérabilité moyenne. D'autant plus que cette dernière se trouve à proximité de l'estacade où des courants tourbillonnaires sont probablement présents (ce qui pourrait accélérer l'érosion). Nous préconisons donc un traitement homogène sur l'ensemble de la zone 6.

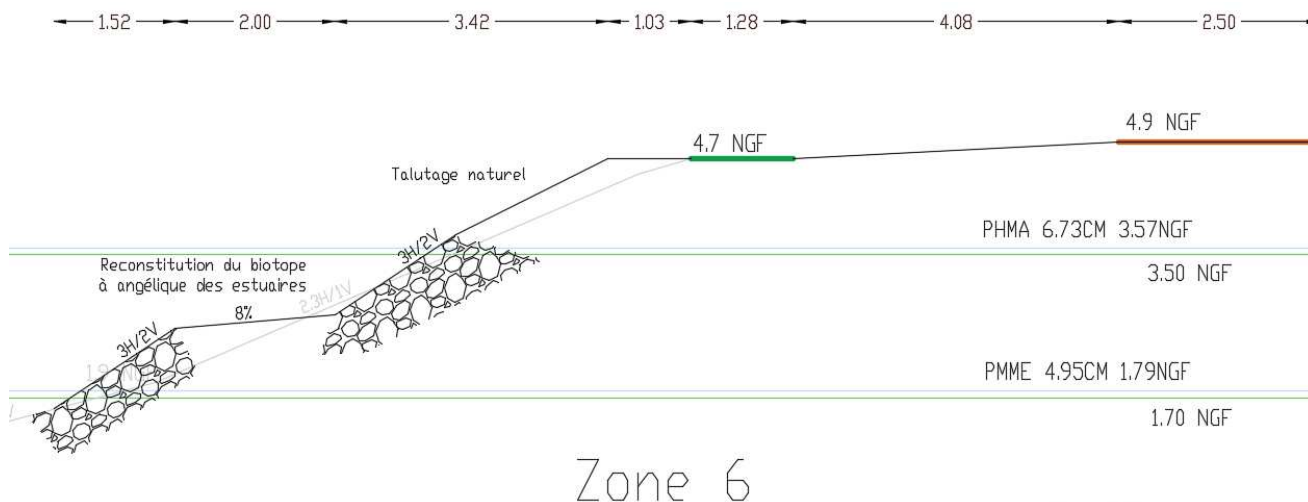
- Solution 1 : Recul du cheminement :



- Solution 2 : Enrochement et reconstitution de biotope à angéliques en partie haute :



■ Solution 3 : Enrochement avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :



- B
- Solution 4 : Soutènement en Caisson végétalisé, enrochement anti-affouillement, avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire (idem zone 4).
 - Analyse multicritères :

B

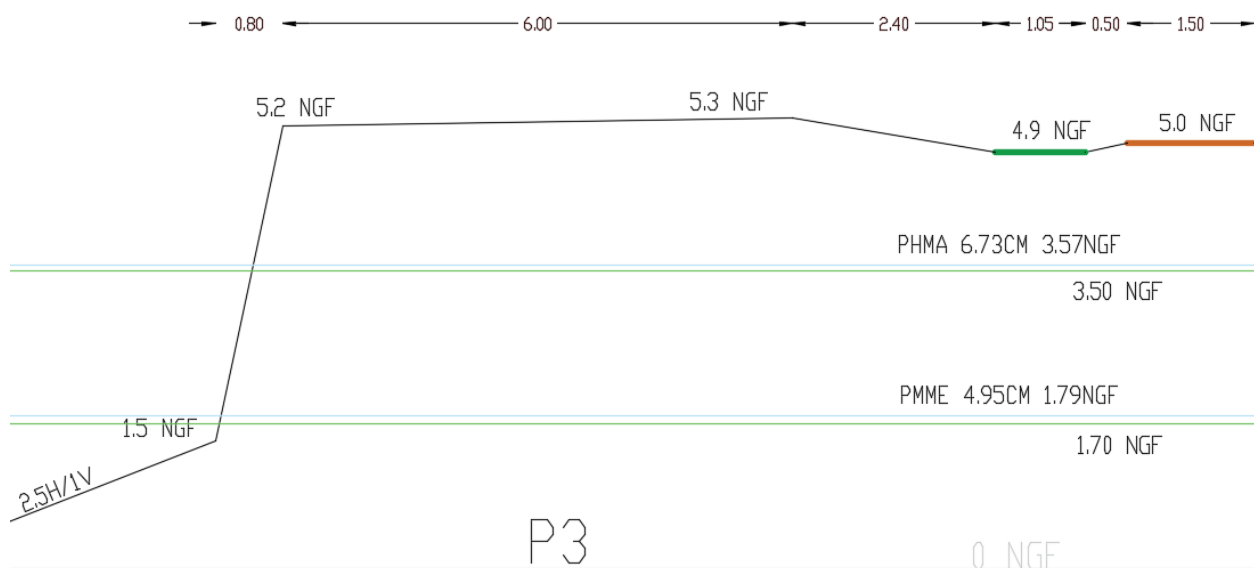
Solution	Impact sur les aménagements	Pérennité	Impact sur l'habitat des espèces protégées	Intégration paysagère	Contrainte de réalisation en phase travaux	Coût
1	Déplacement du cheminement piéton	Evolution de l'érosion à prévoir à court ou moyen terme	Pas d'intervention sur la berge	Neutre	Intervention uniquement en tête de talus	75 €/ml
2	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique mais en limite de zone propice à son développement	Impact visuel des enrochements	Facilité de réalisation de la banquette car altitude plus élevée	De 675 €/ml à 750 €/ml
3	Conservation des aménagements existants	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique	Impact visuel des enrochements	Banquette à réaliser en zone marnante et double talus en enrochement	De 790 €/ml à 865 €/ml
4	Conservation des aménagements existants et chemin plus éloigné de la rive	Conception de Génie Végétal adaptée aux fleuves mais plus vulnérable que des enrochements	Banquette favorable à l'angélique	Création d'un soutènement en Génie Végétal	Technicité élevée et banquette à réaliser en zone marnante	De 800 €/ml à 875 €/ml

6.5 Zone 7 : Estacade, 51m, pas d'intervention

L'estacade a été identifiée comme une zone à part entière. Cette section est classée à vulnérabilité faible. Dans ces conditions, la zone ne nécessite pas d'intervention à court terme. Elle est néanmoins à surveiller.

6.6 Zone 8 : 60m, pas d'intervention

Cette section est classée à vulnérabilité moyenne. Une distance de 5 m minimum sépare le chemin piéton de la berge. Celle-ci présente des traces d'érosion sub-verticales mais son altitude est plus élevée. Dans ces conditions, la zone ne nécessite pas d'intervention à court terme. Elle est néanmoins à surveiller.

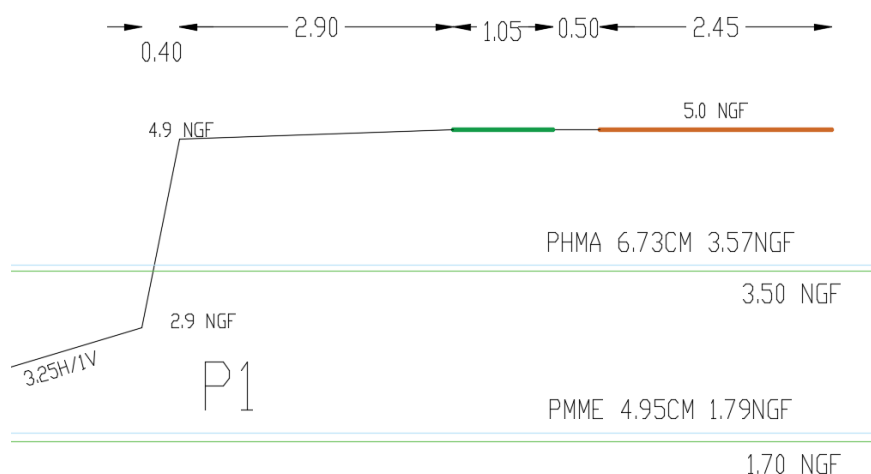


6.7 Zone 9 : 77m, réhabilitation à prévoir

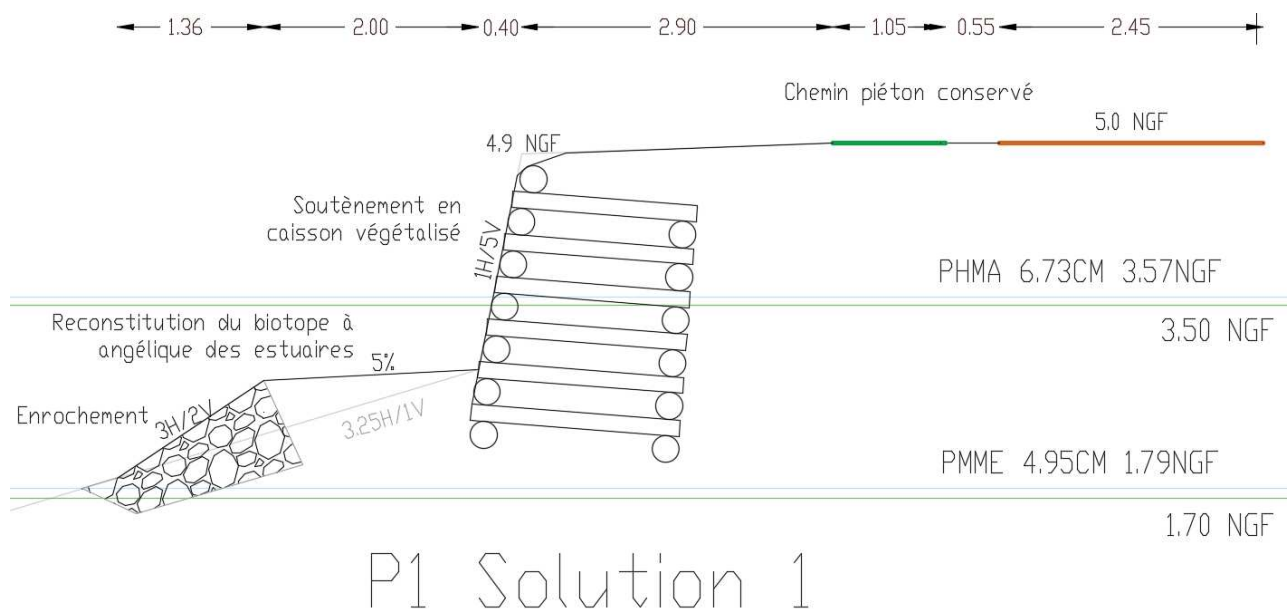
Cette section classée à vulnérabilité forte présente d'importantes traces d'érosion récentes et sub-verticales. Le chemin piéton est ponctuellement proche de la berge. Des solutions de réhabilitation sont à prévoir.

Cette section se différencie des précédentes par sa configuration qui permet de proposer des soutènements en Génie Végétale en plus des solutions de reprofilage de talus.





- Solution 1 : Soutènement en Caisson végétalisé, enrochement anti-affouillement, avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :



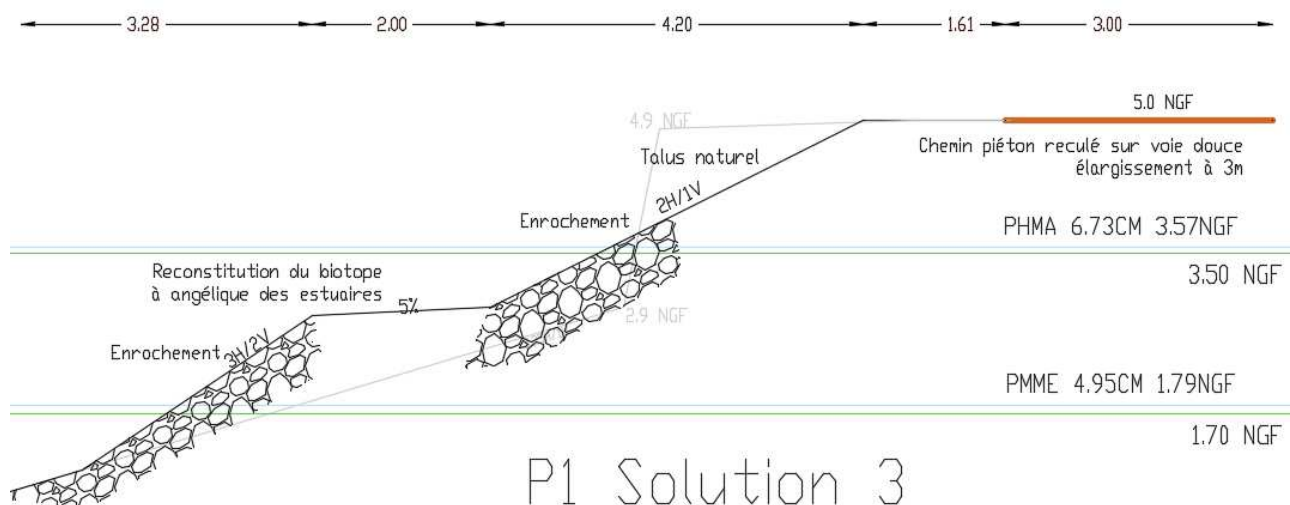
- de biotope à anguilliques en partie intermédiaire :



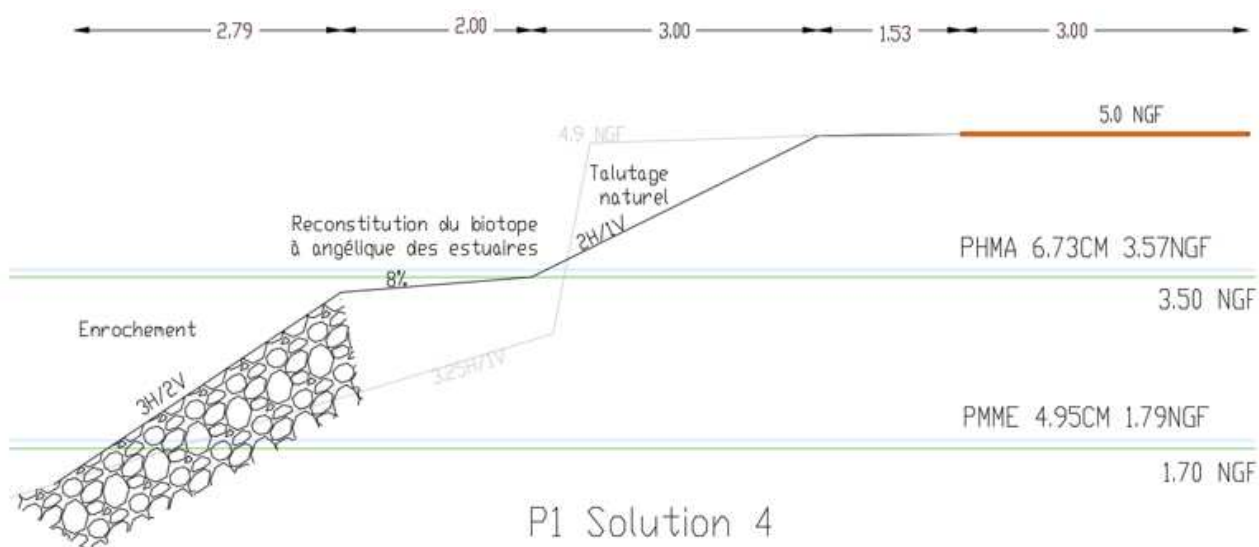
Timeline diagram showing cash flows for a project. The timeline starts at time 0 and ends at time 6. Cash flows are: -2.25 at time 0, 2.00 at time 1, -1.43 at time 2, 3.00 at time 3, 1.05 at time 4, and 0.50 at time 5. Arrows indicate the direction of cash flow: left for outflows and right for inflows.



- Solution 3 : Enrochement avec reconstitution de biotope à angéliques en partie intermédiaire :



- Solution 4 : Enrochement et reconstitution de biotope à angéliques en partie haute :



-



■ Analyse multicritères :

Solution	Impact sur les aménagements	Pérennité	Impact sur l'habitat des espèces protégées	Intégration paysagère	Contrainte de réalisation en phase travaux	Coût
1	Conservation des aménagements existants	Conception de Génie Végétal adaptée aux fleuves mais plus vulnérable que des enrochements	Banquette favorable à l'angélique	Création d'un soutènement en Génie Végétal	Technicité élevée et banquette à réaliser en zone marnante	De 750 €/ml à 825 €/ml
2	Conservation des aménagements existants	Conception moins robuste que solution 1 et plus vulnérable que des enrochements	Banquette favorable à l'angélique	Talus sub-vertical en Génie Végétal avec plantation	Technicité relativement élevée et banquette à réaliser en zone marnante	De 600 €/ml à 675 €/ml
3	Nécessité d'évoluer vers une voie verte pour avoir une banquette de sécurité en tête de talus	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique	Impact visuel des enrochements	Banquette à réaliser en zone marnante et double talus en enrochement	De 790 €/ml à 865 €/ml
4	Nécessité d'évoluer vers une voie verte pour avoir une banquette de sécurité en tête de talus	Confortement robuste de la berge	Banquette favorable à l'angélique mais en limite de zone propice à son développement	Impact visuel des enrochements	Facilité de réalisation de la banquette car altitude plus élevée mais quantité de terrassement plus élevée que solution 3	De 675 €/ml à 750 €/ml
5	Conservation des aménagements existants	Confortement très robuste	Configuration non optimale pour le piégeage des vases	Important impact visuel des enrochements	Simplicité de réalisation mais quantité importante de terrassement	De 825 €/ml à 900 €/ml

6.8 Zone 10 : Pas d'intervention

Cette section représente une zone classée à vulnérabilité faible dans le diagnostic. La distance qui sépare le chemin piéton de la berge est conséquente. Dans ces conditions, la zone ne nécessite pas d'intervention à court terme. Elle est néanmoins à surveiller.

7 PRINCIPE DE GESTION DES ESPECES INVASIVES

Selon les modalités d'intervention et les espèces présentes au droit des secteurs retenus, il conviendra de préciser la gestion des espèces invasives avant les travaux.

Le principe d'intervention est le suivant : seules les espèces invasives présentes sur le secteur de berge à reprendre seront traitées de façon systématique.

Pour la gestion courante, ces interventions mériteraient d'être intégrées dans le programme d'entretien assuré par la commune. Cela nécessiterait une formation et l'appropriation du protocole.

Les interventions seront adaptées aux espèces, les protocoles évoluent en fonction des connaissances et des retours d'expérience. Quelques conseils sont donnés mais peuvent évoluer :

Renouée : pas d'intervention sur les massifs implantés tant qu'il n'y a pas à intervenir sur les berges. Dans le cadre des opérations d'entretien (tonte), il faut simplement prévoir de couper les plantules qui se développent sur le haut de berge pour limiter la progression de la plante.

Sur le linéaire de berge le plus érodé à l'est de la zone, la station de renouée présente sera à supprimer dans le cadre des travaux. Il s'agit d'une opération à mener en présence d'un écologue pour s'assurer que toute la plante est bien enlevée et qu'elle sera bien détruite. Le système racinaire peut s'ancrer très profondément (1,5 m - 2 m), la destination de la terre doit être bien tracée pour éviter sa dissémination ailleurs.

Pour la station présente en haut de berge à l'extrémité ouest de la zone d'étude, un bâchage pourrait être testé, ou ne rien faire. La taille du massif est à proscrire pour éviter qu'il ne se développe encore davantage.

Buddléia : sa suppression peut être prévue systématiquement sur tout le linéaire avant floraison. C'est une espèce facile à enlever et elle peut être prise en charge dans le cadre de l'entretien des espaces verts moyennant une information des jardiniers. C'est une espèce facile à épuiser avec une coupe deux fois par an, il faut prévoir une intervention au fil du temps car elle est présente dans beaucoup d'endroits.

B **Figuier** : pas d'intervention. Il est peu répandu et aide plutôt au maintien de la berge.

Erable négundo : un sujet a été identifié. Le cerclage donne de bons résultats sur cette espèce. L'intervention sera à adapter en fonction du programme de restauration de berges retenu.

Laurier sauce : dans certains cas, les sujets assez haut peuvent être coupés pour favoriser les espèces telles que les frênes ou les saules.

Ailante : il y a la très importante station à l'extrémité Est du site où il est difficile de prévoir une intervention sur les grands sujets. Ceux-ci ne doivent en aucun cas être coupés. Seule la suppression à la main des jeunes sujets présents en sous-bois en enlevant un maximum de racines est souhaitable dans un premier temps (absence de racines traçantes).

Pour les sujets isolés en haut de berge, il convient de tester le cerclage partiel tel que préconisé par le conservatoire Botanique. Ce type d'intervention n'est à mener que sur quelques sujets dans un premier temps pour vérifier la réaction au cerclage.

Remarque : au sujet de l'ailante, il convient d'assurer un suivi et une gestion qui permettent de contenir la station. En effet, les études scientifiques menées au sujet de cette espèce montrent que la flore associée enregistre une baisse de 20 à 30 % du nombre d'espèces. L'arbre produit un herbicide naturel : l'ailantone, qui semble provoquer une sélection de plantes non seulement résistantes à cette molécule mais également toxique pour leur voisine (sources La garance voyageuse n° 119). Dans ce secteur la densité d'angélique semble faible. Ce point pourra être vérifié lors des inventaires à venir.

L'estimation financière de ces interventions sera réalisée si les hypothèses présentées sont acceptées.

Ce point sera détaillé lors de la phase 3.

8 GESTION GLOBALE DE LA VEGETATION DES RIVES

Pour la gestion des espèces dans les secteurs qui ne font pas l'objet d'intervention, des conseils pourront être donnés pour essayer de ne pas accroître leur prolifération (la renouée et le robinier faux accacia en particulier) ou pour intervenir de façon préventive sur les gros arbres (platanes souvent) qui se retrouvent en équilibre sur la berge et peuvent accélérer le phénomène d'érosion, le tronc devenant très lourd. Le platane présente l'intérêt de ne pas rejeter de la souche après la coupe, contrairement aux frênes ou aux saules. Ces interventions permettraient selon les cas de favoriser de jeunes sujets de frênes ou de saules qui pourraient prendre le relais de l'arbre abattu.

Une mise en commun avec les personnes ressources (CEN : personne en charge des espèces invasives, le CBNB, le service environnement de Nantes métropole et les espaces verts de la ville de Couëron) serait intéressante à programmer pour établir un programme d'intervention sur le long terme.

B

La végétalisation de la partie haute des berges et en bordure du chemin lorsqu'il est situé à proximité de la berge pourra être envisagée au cas par cas selon les interventions retenues.

Lors de la suppression de certains grands sujets qui fragilisent la berge, il convient de favoriser la repousse des espèces telles que les saules, les frênes présents naturellement sur les berges, l'habitat le plus favorable au développement de l'Angélique dans l'estuaire de la Loire, correspondant à la chênaie-ormie à *Fraxinus angustifolia* (*Ulmo minori-Fraxinetum angustifoliae*, Rameau & Schmitt 1981).

Par contre, si des plantations étaient réalisées en haut de berge, il conviendrait de favoriser ces espèces avec néanmoins un point d'attention particulier pour le frêne car il est atteint par une maladie parasitaire : la Chalarose, qui progresse rapidement. Elle n'est pas encore signalée dans la région Pays de La Loire.

9 DELAIS DE MISE EN ŒUVRE LIES AU VOLET ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE

La reprise de berge par les techniques proposées relève des différentes réglementations suivantes :

1. Rubrique 10 de l'article R 122-2 , Nomenclature des études d'impact, - la consolidation ou protection des berges, par des techniques autres que végétales vivantes sur une longueur supérieure ou égale à 200 m relève de l'analyse au cas par cas;
2. Rubrique 3.1.4.0 de l'article R214-1 du Code de l'environnement (loi sur l'eau IOTA): consolidation de berges. Selon la longueur de berge concernée, le régime de l'autorisation s'applique au-delà de 200m et le seuil de déclaration est de 20 m.
3. Dérogation « espèces et habitats protégés » L 411-2 du fait de la présence d'angélique des estuaires et de Scirpe triquètre, espèces protégées étant situées dans la zone d'intervention.

B A ce titre il est soumis à autorisation environnementale.

Un inventaire détaillé des habitats et espèces protégés est nécessaire pour constituer le dossier car il faut donner une estimation du nombre et du sexe des espèces, pour répondre aux engagements pris par Nantes Métropole dans le plan de gestion. Il faut aussi réaliser les inventaires sur la période estivale pour apprécier l'importance de la population en distinguant les pieds fleuris des jeunes, et prévoir des relevés phytosociologiques.

Le plan de gestion prévoit dans ce cas de réaliser une étude d'impact spécifiquement orientée vers les enjeux de conservation de l'Angélique et du Scirpe.

Les éléments à fournir pour constituer le dossier d'autorisation sont listés dans la fiche type de la DREAL Pays de La Loire (annexe).

Le délai dans ce cas peut être estimé à un peu plus d'1 an : comprenant 4 à 5 mois d'étude et 9 mois de procédure (instruction/ enquête publique) après dépôt du dossier.

10 CONCLUSION

Le présent rapport constitue la fin de la phase 2 de la mission d'assistance à Maîtrise d'Ouvrage. Il permet de proposer des solutions de réhabilitation des aménagements par section cohérente. Une analyse multicritère est produite pour chaque section. Elle doit permettre au Maître d'Ouvrage de faire des choix. Les solutions retenues seront étudiées plus précisément dans la phase 3 de la mission.